

泥水シールド余剰泥水利用の埋戻し工法の開発

助川 禎*

最も処理がやっかいな泥水式シールド工法から発生する余剰泥水を現場内で埋戻し材として利用する埋戻し工法を開発した。発生した余剰泥水に固化材を添加し、粘液状態で流体輸送し埋戻しを行う工法である。本報告は、実施工の適用に必要な諸実験と、これを踏まえ試験施工を行った結果について述べる。この工法の開発は、発生汚泥の外部搬出と埋戻し用山砂採取を抑制するもので自然環境保全に貢献できる。

Key Words : slurry shield, exceed slurry, back filling, enviromental conservation slurry treatment

1. ま え が き

近年、内需拡大に伴う建設需要の増加、地下空間利用の拡大等により、工事に伴って発生する建設副産物が年々増加する一方、その受入地の確保は海面埋立事業の減少、環境面からの土地利用の規制等により困難を極めてきており、1992年10月には、「再生資源の利用の促進に関する法律」が施行されるなど建設副産物の抑制の面ばかりでなく、これの再生利用技術の促進をはかることになった。

本論文は、都市トンネルで多用されている泥水式シールド工法から発生する余剰泥水を適切に処理することにより、埋戻し用の有用な資源とする再生利用技術の研究について述べた。諸実験とこれを踏まえた試験施工により、余剰泥水を現場内で利用する埋戻し工法の実用性を実証した。

2. 工法の概要

泥水式シールドが粘性土を掘進する場合には、大量の余剰泥水が発生する。これは通常、フィルタープレスにより処理した脱水ケーキとするが、再利用に適さない場合が多く、搬出後さらなる処理が必要である。これを現場で直接処理し、そのまま埋戻しに利用できれば、処理および運搬が不用となり、資源消費が少なくできる。

本工法は、地下鉄工事の駅間トンネルの築造に際し、シールドから発生する余剰泥水に固化材を添加し、粘液状態のまま流体輸送して、基地として使用している後方の開削駅部の埋戻しを施工するものである。

この工法によれば、固化材を添加した処理泥水が流動状態であることから、転圧が不用であり、どんな空隙でも効果的に充填でき、路面陥没の心配もなくなる。

図-1に従来の埋戻しと今回の泥水処理土による埋戻しの概念を示す。

3. 固化材の要件

(1) 固化材の選定

固化材の種類としては、セメント、セメント系固化材、石炭系固化材があり、さらに pH を短時間に低下させて処理できる高分子系の固化材が考えられる。

セメント系固化材は、固化対象物の性状に応じて、セメントを主成分として、固化に有効な成分を添加した「特別なセメント」であるので、本研究ではセメントで代表する。

また固化した泥水処理土は、透水性がなく、処理土に接する土も数 cm の範囲で中和作用が行われ中性化することが判明している（セメント系固化材による地盤改良マニュアル、セメント協会）ことから、pH 値を考慮する必要がないため、高分子系固化材は除くこととする。

一般的に地盤改良では、砂質土にはセメント、粘性土には石灰の考え方があるため、泥水に対する固化材としてセメントと石灰系固化材について、予備比較試験を行い、ブリージング率、P ロート値および一軸圧縮強度と固化材添加量との関係を測定した。

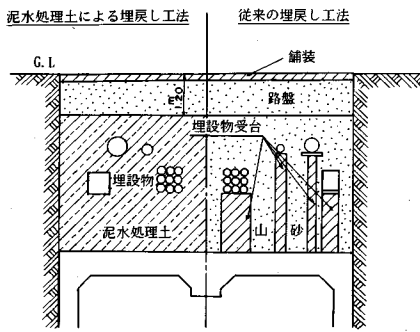
その結果、ブリージング率では、セメントの場合添加量 20 kg/m^3 以上ですべて 1% 以下となったのに対し、石灰系固化材では、 60 kg/m^3 以上の添加量でやっと 1% 以下となった。

P ロート値では、石灰系固化材の場合、 10 kg/m^3 程度の固化材添加で各試験泥水とも P ロートから処理泥水が落下しない現象が生じた。

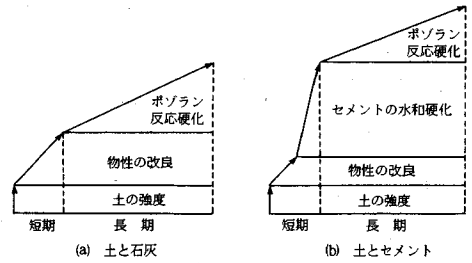
また、一軸圧縮強度では、石灰系固化材はセメントに対し、 $1/5$ 程度の強度発現であった。

このように予備比較試験の結果は、ブリージング率、P ロート値、一軸圧縮強度いずれを見ても、泥水の固

* 正会員 帝都高速度交通営団建設本部副部長
(〒110 台東区東上野 3-19-6)



図一 埋戻し工法比較概念図



図二 土と石灰および土とセメントの強度増加モデル（高速道路調査会：セメント、石灰による路床安定処理の計画、設計および施工に関する研究報告）

化材として、石灰系固化材よりセメントの方がすぐれていることを示した。

これは石灰およびセメントによる土の強度改善効果は、図二のようにモデル化して示されており、土の改良の効果の大部分は、セメントの水和物の生成によっているが、粘土の場合には、セメントより粘土粒子の方が小さく、土粒子の間にセメントが入りにくいため水和硬化による改良効果を発揮できにくい、泥水の場合には、粘土粒子が水に浮遊している状態のため、混練が十分であれば、粘土粒子を効果的に水和物間に取り込みセメントの水和硬化により改良効果を発揮しているものと判断できる。

以上から、本研究の固化材としては、セメントを用いるものとし、普通ポルトランドセメントと混合セメント（高炉セメント）を適宜使用する。

ただし、現場発生した余剰泥水には、イオン交換量が大きく Ca^{++} の消費が著しいセメントと相性の悪い特別な粘土が含まれる可能性もあるので、土性に応じて、室内試験による効果の確認が必要である。

(2) 固化材添加率

泥水にセメントを加え混練すると、水和反応が起り、けい酸カルシウム等の水和物を生成し、同時にセメント粒子内部での反応も進行する。この過程で放出される Ca^{++} により土粒子が凝集し、水和物間に取り込まれた形で固化する。この固化物は水和過程でのセメントの比表面積の増加とともに強度が増加し、更に長期材令でポソラン反応が起り、安定的な強度改善が行われると考えられる。

泥水処理土の埋戻し材としての要件は、①人力掘削が可能な程度の強度に固化すること、②ブリージング率が基準以下であること、③ポンプ打設が可能な程度の流動性を確保できることであるが、これらは、上記のセメントの水和反応による固化過程で、固化材の添加率により、変化するので、各種の配合試験により、これらの要件を満たす適正添加率を求めることとする。

(3) 混練方法

1 kg のポルトランドセメントは、おおよそ 0.25 kg の

水で水和を完了すると言われており、余剰泥水の固化は、非常に高い含水比のもとで水和反応が行われることになるため、改良効果が大きく減じられる可能性がある。

改良効果を高めるためには、泥水に浮遊している粘土粒子間にセメント粒子がまんべんなく行き渡るよう、十分に混練することが肝要と思われる。混練の程度により、固化材の適正添加率も変わってくるので、実験により、混練方法と固化材の性状を明らかにする。

4. 自然余剰泥水利用による実験および試験施工

(1) 実験概要

処理泥水は、余剰泥水を現場発生のまま手を加えずに使用（自然余剰泥水）し、これに固化材として泥水固化壁等で一般的に用いている高炉セメント（B種）を添加し作製することにした。

使用した自然余剰泥水は、北区内の地下鉄7号線複線断面シールドから発生したもので、その物性は次のとおりである。

比重： $\rho=1.22$ 程度、含水比： $w=220\%$ 程度
濃度： $C=31 \text{ wt}\%$ 程度

自然余剰泥水と固化材の混練は、次の2つの方法を比較した。

- A：ミキサーで5分間強制攪拌する方法
- B：エアーで10分間攪拌する方法

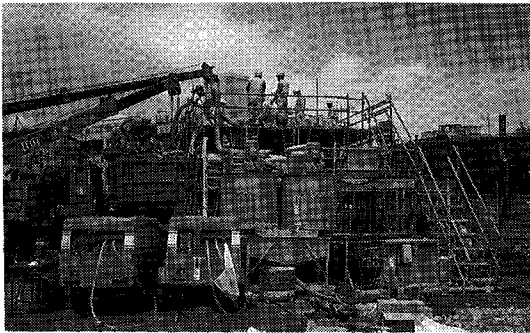
また、固化材の添加量は自然余剰泥水 1 m^3 当り 50 kg/m^3 、 100 kg/m^3 、 150 kg/m^3 の3種類について比較した。実験の状況を写真一、二に示す。

(2) 実験試料と実験方法

実験に用いた試料は、次の方法により作製し、表一に示す5種類の組合せについて試験を行った。

ミキサーによる攪拌の場合の実験試料は次によった。

箱型ダンプトラックに自然余剰泥水を 10 m^3 積載し、実験場所に搬入、これより自然余剰泥水を 1 m^3 ずつ抜き取り、ミキサー（ 1 m^3 /バッチ）で固化材（高炉セメントB種）と攪拌する。攪拌完了後、グラウトポンプで実験指定場所へ打設する。



写真一 実験状況 (1)



写真二 実験状況 (2)

表一 自然余剰泥水利用による埋戻し土のケース

混練方法 固化材* 添加量 (kg/1m ³)	ミキサー攪拌	エア-攪拌
100 kg	A-1	B-1
150 kg	A-2	B-2
50 kg	C-1	—

*高炉セメント

また、エアブローによる攪拌の実験試料は次による。箱型ダンプトラックに自然余剰泥水を5m³積載し、実験場所に搬入、箱型ダンプトラックの開口より固化材(高炉セメントB種、袋詰=40kg/袋)を人力により10袋程度投入する。次にコンプレッサー50PS×2台(風量5m³/min×2台)によりエアブローで混合攪拌する。固化材の使用量が計画量になるまでこれを繰返し、攪拌終了後、グラウトポンプで実験指定場所へ打設する。

実験試料について、次の試験をした。

- ① 実験場所に搬入後採取した自然余剰泥水の物性値試験(単位体積重量, 含水比, 粒度分布)
- ② 混合完了後の処理泥水の物性値試験等(単位体積重量, プリージング, フロー値)
- ③ 固化状態の現地造成体による強度試験等(一軸圧縮試験, 含水比, 現場CBR)

(3) 実験結果および考察

実験結果を表一に示す。これを考察すると次のとおりである。

a) 泥水と固化材の混練について

表二 自然余剰泥水利用の泥水処理土性状

供試体の 製作	泥水の 混練方法 泥水の 添加量 (kg/m ³) 試験番号	ミキサー攪拌		エア-攪拌		ミキ-攪拌	余剰泥水
		A-1	A-2	B-1	B-2		
打設時の 試験	比重	1.31	1.33	1.25	1.31	1.26	1.22
	フロー値 (sec)	1.725sec 12.2	1.725sec 15.3	1.725sec 11.7	1.725sec 16.1	測定せず	(500cc) 23.4
一軸圧縮 強度 (kgf/cm ²)	1日	1.09	1.48	0.1	0.82	固化せず	—
	3日	2.87	3.35	0.1	1.48	固化せず	—
	7日	3.94	6.22	0.35	3.29	固化せず	—
	28日	13.70	17.80	0.595	11.90	固化せず	—
CBR (%)	1日	3.4	4.7	—	2.7	—	—
	3日	12.4	13.5	—	7.3	—	—
	7日	—	—	—	10.6	—	—
	28日	—	—	2.3	—	—	—

ミキサーによる攪拌とエアブローによる攪拌を比較したが、比重、フロー値、一軸圧縮強度等の結果からエア-による攪拌に不十分のところがみられ、エア-量、ブロー時間、エア-ノズル等の改善が必要である。

b) 一軸圧縮強度及びCBR試験について

試験の結果を図示すると図-3, 4のようになり、攪拌の良い方、また固化材の量の多い方が一軸圧縮強度およびCBR値が大きくなっている。

固化材の添加量は、150kg/m³以下であれば、人力掘削が十分可能であり、埋戻し土として使用できる。ただし、Cに見るように固化材が少なすぎると固化しない。

今回程度の物性の自然余剰泥水では、ミキサー攪拌を十分行えば、固化材添加量を100kg/m³以下にすることも可能であると考えられる。

配合の決定に当たっては、ベースとなる自然余剰泥水の比重、濃度等により、一軸圧縮強度及びCBR値が大きく変化するので、自然余剰泥水の物性把握が重要な管理項目となる。

c) 含水比について

いずれも、100%以上の含水比となっている。これは、自然余剰泥水中の粒子分が軽石状に固結し、その間に多量の水が含まれているものと判断される。

(4) 試験施工

上記実験にもとづき、試験施工を行った。試験施工に用いた自然余剰泥水の物性は次のとおりである。

- 比重: $\rho=1.25\sim 1.30$
- 含水比: $w=210\%$ 程度
- 濃度: $C=32\text{ wt}\%$ 程度

試験施工は、固化材添加量100kg/m³と150kg/m³の2ケースを行った。配合を表一に、それぞれの攪拌、運搬及び打設の方法を表一に示す。

試験施工後の強度確認の結果を表一に示す。

実施例①は、予想した50%程度の強度発現であった。これは、自然余剰泥水を搬入して来たトラックミキサー内に固化材を一度に投入し、攪拌する方法をとったため、

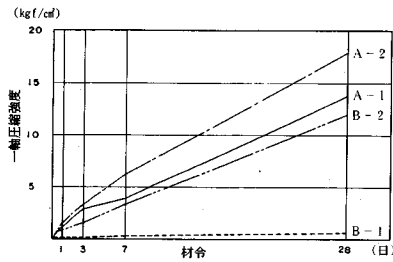


図-3 自然余剰泥水利用処理土一軸圧縮試験結果

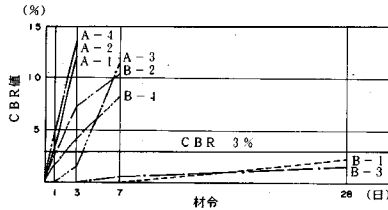


図-4 自然余剰泥水利用処理土 CBR 試験結果

表-3 自然余剰泥水利用による試験施工
(泥水処理土配合)

数	実施例	材 料	
		自然泥水	固化材 (高炉セメント (B種))
1	実施例①	1.0 m ³	100kg (地山相当以上の埋戻し)
1	実施例②	1.0 m ³	150kg (シールド機ノーズダウン防止)

表-4 自然余剰泥水利用による試験施工
(攪拌・運搬・打設方法)

	実施例①	実施例②
泥水搬入	トラック(5m ³ 車)にて各工区より搬入する。(5m ³ /台)	泥水処理設備の余剰泥水より搬入する。トラック(5m ³ 車)に投入する。
泥水固化材混練	泥水を搬入してきたトラック内に、固化材を投入し攪拌する。(5m ³ の泥水に500kgの固化材を攪拌しながら投入する。)	泥水を分割(2m ³ +2m ³ +1m ³)して、トラック内に投入しそれに合わせ固化材も投入し攪拌する。(5m ³ に対し750kg)
運搬・打設	トラック(5m ³ 車)にて、埋戻し箇所へ運搬しシュートにて打設する。	トラック(5m ³ 車)にて埋戻し箇所へ運搬しシュートにて打設する。

混練が十分でなかったことに起因していると思われる。

実施例②は、分割して自然余剰泥水をトラックミキサー内に積み込み、それに合わせ適量ずつ固化材を投入し攪拌したため、混練が十分であったと見られ、先の実験結果から予定したとおりの強度発現であった。

(5) 結 語

この実験および試験施工の結果から、泥水処理土を埋戻し材として利用することは十分可能であると判断できたが、現場発生の自然余剰泥水は、その物性とその都度違い、物性の違いにより強度差が出ることになる。また、自然余剰泥水と固化材の混練の良否が強度発現の大きな要因となるが、固化材の量を多くすることで混練の悪さをカバーできる。

したがって、最適な自然余剰泥水の物性管理と混練方法を確立することにより、品質がより安定し、また経済的な泥水処理土による埋戻し工法を可能にすることができる。

表-5 自然余剰泥水利用による試験施工
(強度確認結果)

実施例①

		No. 1			No. 2			配合
		1	2	3	1	2	3	
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	強度	5.96	6.58	7.94	5.88	4.26	6.00	固化材 100kg/m ³
	平均	6.83			5.38			
標準貫入試験 N 値		19			15			
材 令		6ヶ月(180日)						

実施例②

		No. 1			No. 2			配合
		1	2	3	1	2	3	
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	強度	12.2	16.4	15.5	15.5	17.4	12.9	固化材 150kg/m ³
	平均	14.7			15.3			
材 令		4ヶ月(120日)						

5. 比重管理余剰泥水利用による実験および試験施工

(1) 実験概要

4. で行った現場発生の自然余剰泥水に固化材を添加し、直接固化した実験結果から、効果的な物性管理と混練方法の確立が実施に当って重要であると判断されたことから、二次サイクロンによって一定の泥水比重に濃縮した濃縮余剰泥水を用いた場合の処理土の性状を測定、把握することとした。また、混練、圧送、充填実験を行い、実施の際の施工管理手法の検討資料とした。

(2) 濃縮余剰泥水試験と配合試験

a) 濃縮余剰泥水試験

濃縮余剰泥水試験のフローを図-5に示す。

試験は、自然余剰泥水をサイクロンに打込み、濃縮化したアンダー泥水を濃縮泥水槽に貯留し、低濃度化したオーバー泥水を調整槽に戻すもので、サイクロンのアベックスバルブを調整し、濃度を決めた。

この場合の自然余剰泥水と濃縮余剰泥水の性状の測定結果を表-6に、またそれぞれの泥水の粒度分布を図-6に示す。

b) 配合試験

濃縮余剰泥水および自然余剰泥水に固化材(普通ポルトランドセメント)を添加し、ハンドミキサーを用い、3分間連続攪拌し、この量を変化させた処理土を製作し、各性状を測定した。この場合の配合の種類を表-7に示す。

測定の結果は、次のとおりである。

① プリージング率

図-7に固化材添加量とプリージング率の関係を示す。図-7をみると、固化材添加量の増加に伴い、プリージング率が減少しており、添加量 40 kg/m³ 以上で、土木学会プレバックドコンクリートの注入モルタル基準であるプリージング率 1% 以下となっている。

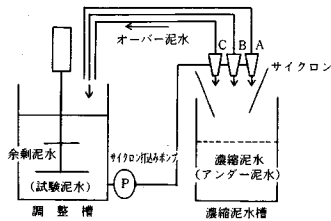


図-5 濃縮試験フロー

表-6 自然余剰泥水と濃縮余剰泥水の物性測定結果

		自然泥水	濃縮泥水①	濃縮泥水②
泥水比重		1.255	1.420	1.600
含水比 %		189.8	102.6	62.2
粒度	砂分 %	4.9	13.8	28.1
	シルト分 %	53.1	63.2	57.9
	粘土分 %	42.0	23.0	14.0
P-ロート流下時間 sec		8.7	9.2	10.2
ブリージング率 %		2.5	4.3	4.9

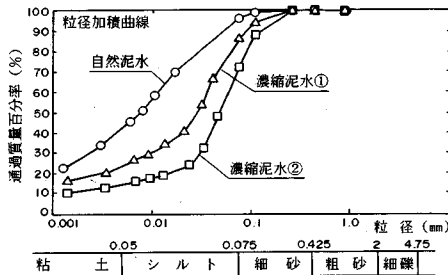


図-6 各泥水の粒度組成

表-7 各泥水と固化材配合

泥水の種類	固化材の種類	固化材添加量(kg/m ³)	添加剤*
自然泥水 $\rho = 1.255$	普通ポルトランドセメント	10, 30, 60, 80, 100, 120	AE減水剤
濃縮泥水① $\rho = 1.420$	普通ポルトランドセメント	10, 30, 60, 80	AE減水剤
濃縮泥水② $\rho = 1.600$	普通ポルトランドセメント	10, 20, 30, 40, 60, 80	

*試験は固化材(セメント)添加量1ケースに対して実施。

② P-ロート値

固化材添加量とP-ロート流下時間の関係を図-8に示す。図-8をみると、固化材添加量の増加に伴い、P-ロート流下時間が増加しており、この傾向は、泥水比重の高い余剰泥水ほど強くなっている。図中の↑印はP-ロート中の処理土が落下せずに一部ロート内に残留した場合は示す。P-ロート時間が大きいことから、流動性を高めるため2種類の処理土に対して減水剤を添加し、その効果を調べた。減水剤添加量とP-ロート流下時間の関係を図-9に示す。図中の百分率はセメント添加量に対する減水剤添加量の重量比を示す。減水剤の添加により、その効果が認められたが、P-ロート流下時間の減少幅は、ある程度限度があると判断された。

③ 一軸圧縮強さ

固化材添加量と一軸圧縮強さの関係を図-10に示す。図-10を見ると、固化材添加量の増加に伴う一軸圧縮

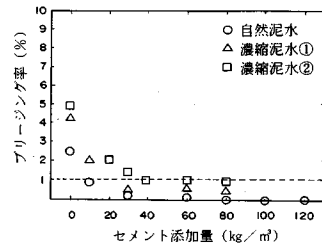


図-7 固化材添加量～ブリージング率関係

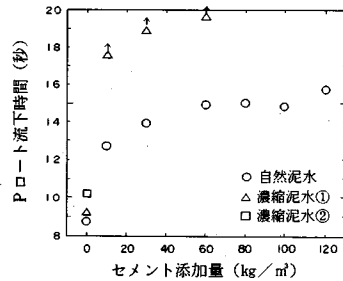


図-8 固化材添加量～P-ロート流下時間の関係

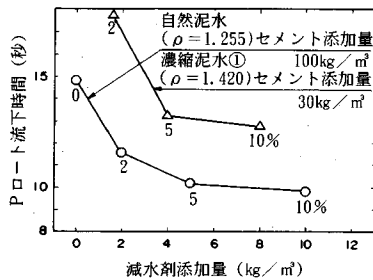


図-9 減水剤添加量～P-ロート流下時間の関係

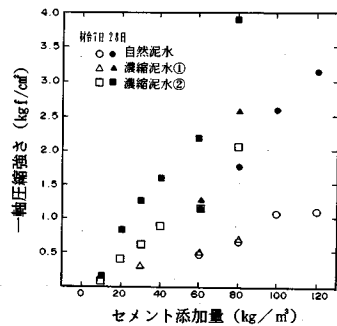


図-10 固化材添加量～一軸圧縮強度(7日、28日材令)の関係

強さの増加率は、泥水比重の高いものほど大きく、特に濃縮余剰泥水②の場合、同程度の強度を得るのに必要となる添加量は、自然余剰泥水の約半分の量でよいことがわかる。

一軸圧縮強さと材令の関係は、図-11にみるように、28日材令の一軸圧縮強さは、7日材令の約2倍となっている。

④ 湿潤密度

固化材添加量と湿潤密度の関係は図-12に示すとお

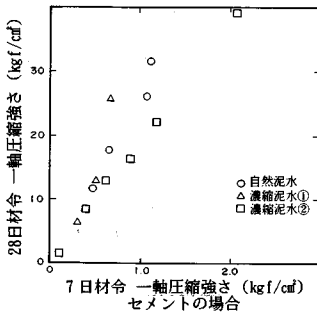


図-11 一軸圧縮強さの7日材令と28日材令の関係 (セメントの場合)

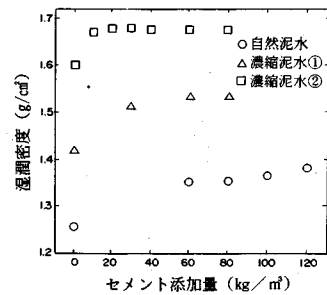


図-12 固化材添加量～湿潤密度関係

りて、各泥水とも固化材なしの泥水比重より大きな値を示しているものの、固化材添加量が20~40 kg/m³以上になると同じような値となっている。

c) 試験結果のまとめ

① 2次サイクロンを用いることにより、比重 $\rho=1.255$ の自然余剰泥水を $\rho=1.4\sim 1.6$ まで、濃縮・調整することが可能であることが判明した。

② 濃縮余剰泥水は、自然余剰泥水に比べて強度が出やすく、所定強度を得るのに必要とする固化材の添加量を減じることができる。ただし、流動性が悪くなる。

③ 処理土の密度は、もとの泥水比重に対応するので、濃縮余剰泥水の方がより高い密度の処理土が得られる。

④ 濃縮余剰泥水の処理土の場合、流動性を判定する所定のPロートの基準値を満足しにくい結果となったため、圧送、充填試験で検討する必要がある。

(3) 混練、圧送、充填試験

(2)の配合試験の結果、Pロート値が目標値(13秒以下)を満足しなかったため、処理泥水の混練、圧送、充填試験を行った。試験では濃縮余剰泥水の比重を1.4、固化材(普通ポルトランドセメント)の添加量を80 kg/m³とした。

a) 試験方法

試験は、自然余剰泥水をサイクロンに打込み、濃縮化したアンダー泥水を濃縮泥水槽に貯蔵し、泥水性状を確認した後、フロージェットミキサーに濃縮余剰泥水を移送し、ミキサー内部で濃縮余剰泥水と固化材を連続的に混練し、圧送ポンプで実験土槽内に打設した。実験土槽は、埋設管のある場合とない場合を用意した。試験のフローを図-13に示す。

b) 試験結果

① 混練性

フロージェットミキサーにより、泥水と固化材を20 m³/Hの能力で混練でき、作製処理泥水の性状は、ほぼ一様であることを確認した。

② 圧送性

処理泥水は、ピストン式ポンプで20 m³/Hの能力で

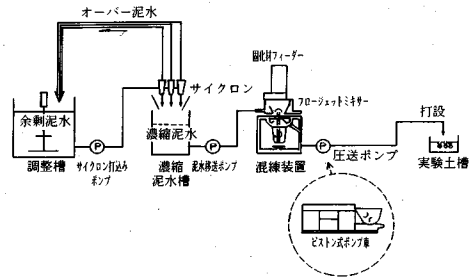


図-13 濃縮余剰泥水による泥水処理土の試験フロー

圧送できることを確認した。

③ 充填性

Pロート値が20秒以下、スランプフロー60 cm以上の処理泥水であれば、土槽中のセルフレベリング性が良く(打設表面の勾配が7/100以下)、しかも埋設管と埋設管の間にも確実に充填できることが確認できた。なお、流動性の指標としてPロート値とスランプフローについて検討した結果、両者の間にある程度の相関が見られた。処理泥水がPロート内に残留する場合は考慮すると、スランプフローによる管理の方法の方が良いと思われる。

④ 打設後の状況

打設一週間後の供試体は、埋設管のない場合、クラック発生もなく、きれいな状態であったが、埋設管のある場合には、埋設管の近くに硬化収縮量の違いによると思われるクラックが発生した。

実施では、埋設管の下端まで打設した後、埋設管の周辺をできるだけ薄く打設するなどの工夫が必要と考えられる。写真-3、4に打設後の供試体の状況を示す。

(4) 掘削性試験

固化材添加量の違いによる3種類について、掘削性試験を行った結果、いずれの場合も、十分掘削可能であった。この場合、固化材添加量が少ないほど、スコップに処理土が付着する量が多かった。各ケースの固化材添加量、処理土の性状、強度、掘削性の試験結果を表-8に

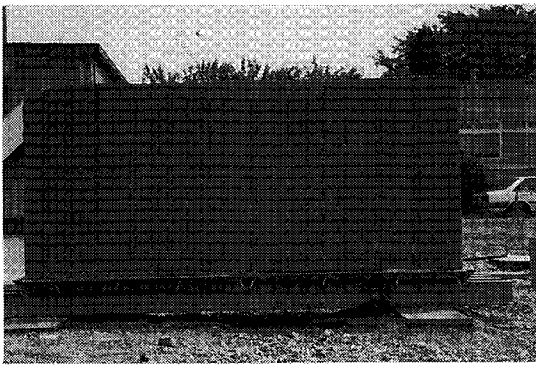


写真-3 打設後の供試体の状況 (1)

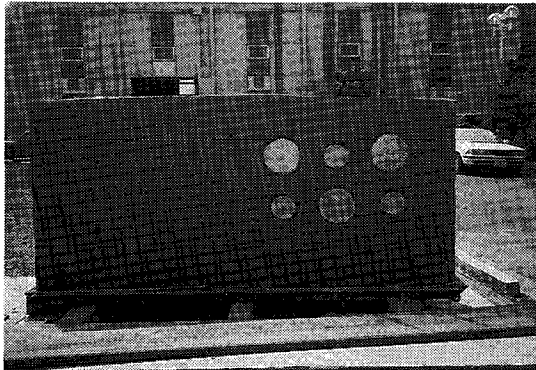


写真-4 打設後の供試体の状況 (2)

表-8 濃縮余剰泥水による処理土の性状、強度、掘削性

項目	固化材の種類	普通ポルトランドセメント		
	添加量 (kg/m ²)	55	80	105
処理泥水の性状	比重	1.420	1.445	1.445
	P-ロート値 (sec)	11.3	11.9	12.6
	スランプフロー (cm)	85.5	84.0	82.5
	ブリーディング率 (%)	0.0	0.0	0.0
処理土の強度	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	1.02	1.98	3.59
	現場CBR値 (%)	1.8	4.0	6.3
	山中式土壌硬度 (kgf/cm ²)	6.29	13.97	22.12
処理土の掘削性		容易 粘性が高く、 刃が付き過ぎる。	容易 スロップに 多少付き過ぎる。	容易 刃がほとんど 付きしない。

(注) 一軸圧縮強度、現場CBR値、山中式土壌硬度は材令28日のものである。

表-9 固化材の違いによる処理土の性状および強度の比較

項目	固化材の種類	普通ポルトランドセメント			高炉セメントB種		
	添加量 (kg/m ²)	55	80	105	55	80	105
処理泥水の性状	比重	1.420	1.445	1.445	1.425	1.440	1.450
	P-ロート値 (sec)	11.3	11.9	12.6	11.8	12.0	13.0
	スランプフロー (cm)	85.5	84.0	82.5	83.5	81.0	79.5
	ブリーディング率 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	材令1日	—	0.26	—	—	0.17	—
	材令2日	—	0.42	—	—	0.31	—
	材令3日	—	0.54	—	—	0.45	—
	材令7日	0.45	0.76	1.21	0.55	0.82	1.04
	材令28日	1.02	1.98	3.59	1.63	2.31	3.64

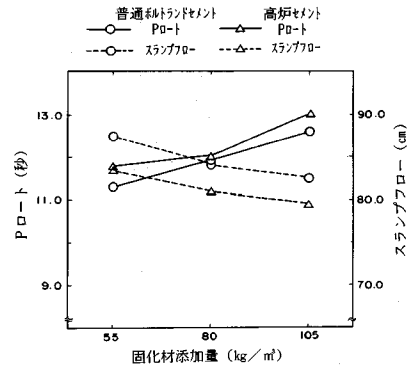


図-14 固化材の違いによる固化材添加量と処理土のP-ロート値、スランプフロー比較

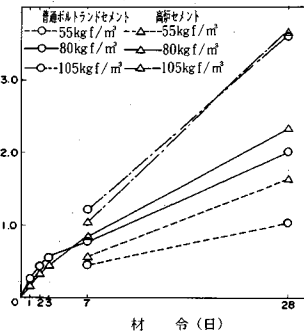


図-15 固化材の違いによる処理土の圧縮強度

示す。

(5) 固化材の種類の違いによる処理土の性状と強度試験

固化材の種類として、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を用い、処理土の性状と強度試験を行った結果を表-9に示す。また、処理土の性状の比較を図-14に、強度の比較を図-15に示す。

これらからわかるように、高炉セメントを添加した処理泥水は、普通ポルトランドセメントより若干流動性が悪くなるが、強度は、高炉セメントを用いた場合、初期強度は低くなるものの、長期強度は高くなる。したがって、実施工では、経済的でもある高炉セメントを用いることとする。

(6) 試験施工

上述した各種試験結果を基に、地下鉄7号線の現場(文京区本駒込、向丘付近)で発生した濃縮余剰泥水を用いて配合試験練を行い、後方基地として使用している同現場の開削駅において、試験施工をした。これにより、一軸圧縮強さ、圧送性、打設時の充填性、埋戻し終了後の圧密度、再掘削性等を確認した。

a) 室内配合試験と結果

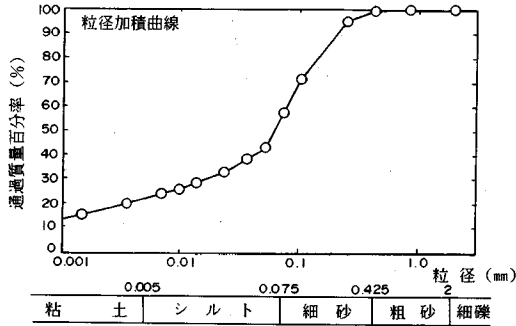
試験に用いた濃縮余剰泥水の性状と粒度組成を表-10、および図-16に示す。

処理土の性状試験の結果は表-11である。また、固化材添加量と一軸圧縮強さとの関係は図-17のようになった。

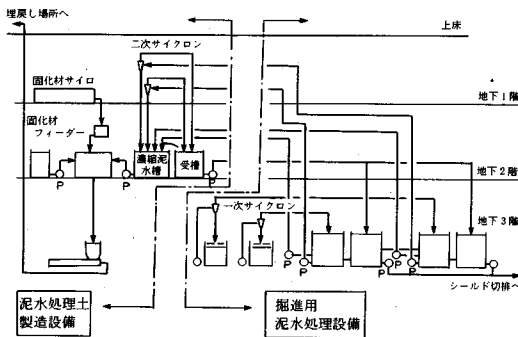
この結果、泥水比重 $\rho=1.40$ の場合、固化材添加量45~60 kg/m³で品質管理基準値(2~4 kgf/cm²)を満足

表一10 試験施工濃縮余剰泥水性状

項目	測定値	
泥水採取日	平成4年11月	
泥水比重	1.40	
含水比(%)	116.8	
粒度 (%)	砂分	42.2
	シルト分	36.3
	粘土分	21.5
Pロート値(秒)	9.1	
フリング率(%)	8.8	



図一16 試験施工濃縮余剰泥水の粒度組成



図一18 試験施工設備概要

できることが判明したが、泥水の比重、粒度組成のばらつき、さらに実施工で施工管理が不十分になる場合も考慮し、一軸圧縮強度は、品質管理基準値の中間値以上(3~4 kgf/cm²)となるように設定し、試験施工における固化材添加量は55 kg/m³とすることにした。

b) 試験施工と結果

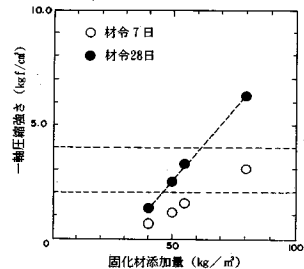
① 施工設備と管理

試験施工と機械設備は地下鉄7号線工事の泥水シールド基地として使用している駅トンネル構内(開削工法でシールド工事に先行して築造)に実施工でそのまま使用できるよう設置した。

すなわち、シールド掘進により発生する自然余剰泥水を二次サイクロンにより所定の比重に濃縮し、濃縮泥水槽に一次貯留後、スラリーポンプによりフロージェットミキサーに投入し、固化材と連続混練することにより処理泥水を作製した。試験施工設備の概要を図一18に示す。施工に当たって設定した処理泥水の品質管理基準値を

表一11 試験施工濃縮余剰泥水による処理土性状

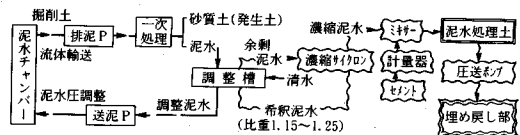
項目	測定値			
固化材添加量(kg/m ³)	40	50	55	88
処理土比重	1.415	1.425	1.425	1.440
Pロート値(秒)	9.9	10.1	10.2	10.4
フリング率(%)	0.0	0.0	0.1	0.0
スランプフロー値(cm)	90以上	90以上	90以上	90以上
一軸圧縮強さ(kgf/cm ²)	材令3日	0.311	0.841	0.831
	7日	0.680	1.237	1.615
	28日	1.343	2.502	3.292



図一17 試験施工濃縮余剰泥水による固化材添加量と一軸圧縮強さ

表一12 試験施工品質管理基準値

管理項目	管理基準(案)
一軸圧縮強さ	$\sigma_{28} = 2 \sim 4 \text{ kgf/cm}^2$
フリージング率	1%以下
スランプフロー値	60cm以上



図一19 試験施工泥水循環基本フロー図

表一12に示す。固化材の使用量はセメントサイロにロードセルを取付け、自動的に重量を測定した。また、作製量の確認は、ミキサーに計測器を取付け、自動的に測定した。以上の泥水循環フローを図一19に示す。

② 充填方法

処理泥水の充填は、駅トンネル上の20m区間を試験施工区間とし、これを4分割し、層厚50cm程度毎に水平になるよう順に行った。

③ 結果と考察

試験施工で作製した処理泥水の性状と固化した処理土の性状を表一13に示す。

試験施工結果を考察すると次のとおりである。

- 固化材添加量と一軸圧縮強さを試験施工の結果と室内配合試験と比較すると図一20のとおりであり、55 kg/m³の固化材添加量で圧縮強さの管理基準値の2~4 kgf/cm²を確保できることが確認できた。また、図一21に示す一軸圧縮強さの材令28日に対

表-13 試験施工泥水性状と処理土性状
(濃縮余剰泥水による)

試験名	試験施工										
	打設日	1月14日	1月19日	2月2日	2月5日	2月18日	2月27日	3月2日	3月4日	3月5日	
泥水	含水比 (%)	130.9	151.1	101.7	128.4	109.7	112.7	110.6	93.3	93.3	
	泥水比重	1.373	1.363	1.450	1.380	1.370	1.400	1.400	1.450	1.450	
水	粒度組成 (%)	砂分	52.7	62.4	59.9	44.7	—	—	—	—	—
		シルト分	20.8	16.1	25.9	41.3	—	—	—	—	—
		粘土分	26.5	21.5	14.0	14.0	—	—	—	—	—
		P-ロート値 (砂)	9.3	8.6	9.8	9.2	—	—	—	—	—
	ブリージング率 (%)	3.6	6.3	2.6	3.8	—	—	—	—	—	
処理土	固相材添加量 (kg/m ³)	材令3日	55	55	80	80	55	55	55	55	55
		材令7日	1.300	1.378	1.465	1.415	1.430	1.400	1.410	1.460	1.460
		スランプフロー値 (cm)	60.5	64.0	89.0	88.0	63.0	78.5	74.0	70.5	69.5
		ブリージング率 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
埋戻し	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	材令3日	0.811	0.732	0.982	0.984	—	—	—	—	—
		7日	1.513	1.480	2.616	2.561	1.500	1.422	1.520	2.900	1.581
		28日	3.082	2.734	6.592	6.280	2.129	2.871	3.121	4.000	3.501
		山中式土壌硬度 (mm)	材令3日	15.3	14.9	17.3	16.7	—	—	—	—
	7日	20.3	17.9	23.5	23.2	22.3	20.2	23.0	19.2	20.8	
	28日	24.7	24.3	28.7	28.0	24.3	24.1	25.3	25.7	24.9	

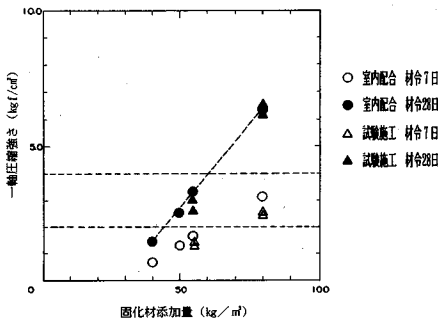


図-20 濃縮余剰泥水による固化材添加量と一軸圧縮強さ (現場室内配合と試験施工の比較)

する比から、材令7日の一軸圧縮強さによる施工管理が可能であることも確認できた。

- 流動性は、スランプフローがいずれも 60 cm 以上となり、打設時の流動性は問題なかった。
- 掘削性については、打設後 4 週経過個所で、スコップによる試験掘削を行い、人力で十分掘削可能であることが確認できた。
- 全てのブリージング試験でブリージングが無く、打設後に水分が表面に浮く様子も全くなかった。また、2 日間水を張って確認したが、水が浸透し溶解していることもなかった。
- ダイアルゲージによる沈下量測定の結果、泥水処理土の固化過程での収縮による沈下量も含め、2~3 週間で収束しており、1 m の厚さで最大 0.3 mm 程度であった。

6. 経済的評価

泥水シールドの後方基地として使用する標準的な開削駅部の埋戻しにこの工法を用いた場合について、従来の埋戻し工法と工事費を総合的に比較してみると表-14

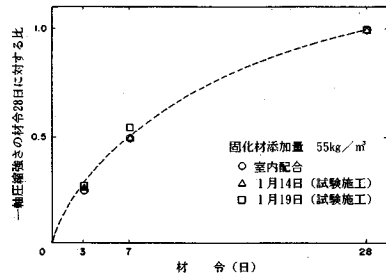


図-21 濃縮余剰泥水処理土による一軸圧縮強さの材令 28 日に対する比 (現場試験)

表-14 泥水処理土による埋戻し 1 m³ に要する工費比較 (従来の埋戻し工法による工費を 100 とした場合)

項目	泥水処理土による埋戻し工法	従来の埋戻し工法	摘要
埋戻し	—	81	山砂購入 (現場搬入) 転圧
埋設物復旧受け台	—	14	コンクリート受け台費等
泥水処理土作製用材料および設備	固化材 3 設備その他 38	—	固化材: 高炉セメント B 種 55 kg/m ³ 添加 設備費: 揚料、運搬、設置、撤去等
泥水処理土打設工	11	—	
脱水・運搬処理及び泥水処理設備	—	運搬処理 16 設備その他 39	産廃運搬・処理 設備揚料・運転・設置・撤去
計	52	100	
基地用地 (泥水処理設備のみ)	従来工法より 300 m ² 減	約 2500 m ²	地下鉄の場合駅部を作業基地にするため工費から除いた。

のようになり、従来の埋戻し工法の工事費を半減できるほどの大幅な経済的効果がある。

7. 結論

諸実験と試験施工の結果から、泥水シールド余剰泥水利用の埋戻し工法について、まとめると次のようになる。

- 固化材は、高炉セメント (B 種) で十分効果を発揮し得る。ただし、自然余剰泥水にセメントの効果を減少させる特別な粘土や有機物が含まれる場合も考えられるので、実施工に当っては、配合試験により確認し、場合によっては、土性に応じたセメント系固化材を選定する。
- 固化材の添加量に応じて、一軸圧縮強度は、ほぼ直線的に増加する。また、同添加量の場合、泥水比重の高い余剰泥水ほど大きい。
- 余剰泥水と固化材の混練の良否が強度に大きく影響する。混練が不十分と思われる場合には、ある程度固化材添加量を増やすことで対応可能である。
- 流動性は、固化材添加量の多いほどまた泥水比重の高いほど低くなる。減水剤の使用によりある程度流動性は高くなるが、限度がある。

ただし、試験施工の結果、流動性には何ら障害がなかった。

e) ブリージング率は、固化材の添加量の増加に伴い減少し、添加量 40 kg/m³ 以上で 1% 以下となる。

f) 充填性は、スランプフローにより管理でき、スランプフロー 60 cm 以上であれば、セルフレベルング性

が良く、埋設管と埋設管の間にも確実に充填できる。

9) 人力による掘削は、一軸圧縮強度 15 kgf/cm^2 程度まで可能である。

h) 材令 28 日の一軸圧縮強さは、材令 7 日の 2 倍である。

i) 泥水処理土の固化過程での収縮は、2~3 週間程度で収束する。

以上より、通常の余剰泥水であれば、次の方法により、実施可能であることが実証できた。

- 固 化 材：高炉セメント (B 種)
- 固化材添加量：濃縮泥水比重 1.40 の場合 55 kg/m^3
自然余剰泥水の場合 $80 \sim 100 \text{ kg/m}^3$
- 現場混練：試験施工に準ずる。
- 品質管理基準：試験施工に準ずる。
- 現場配合試験：7 日材令による。

本工法は、営団地下鉄において昭和 63 年頃より開発を進めていたものであるが、道路管理者、埋設物管理者の承認が得られ、平成 5 年 6 月より、本格的に道路内で、実施している。

この工法の採用により、次の利点が生じた。

- ① 残土運搬・処分に伴う周辺環境問題の軽減
- ② 埋戻し用山砂採取に伴う自然破壊の軽減
- ③ フィルタープレス、余剰泥水槽、pH 調整槽等の削減
- ④ 上記削減に伴う、後方基地面積の縮小
- ⑤ 埋設物復旧用受台が不用になり、再掘削時の障害がなくなる。
- ⑥ 締めめが不用で、転圧不良による道路陥没の心配がない。

⑦ 総合的に工事費を大幅に削減できる。

8. 謝 辞

本研究の実験、試験施工に際しては、大成建設、佐藤・戸田 JV、間・青木 JV 各社の積極的なご協力を戴き実施した。この際、東京都建設局、各埋設管理者各位の御指導を戴いた。ここに関係の皆様へ深甚な謝意を表します。

また、本論文の取りまとめに当り、貴重なご助言を賜った中央大学久野悟郎教授ならびに茨木龍雄教授に改めてお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 鈴木繁樹：シールド工事における掘削土処理の問題点、基礎工、1991. 4.
- 2) 加藤信介・長浜忠・平地正憲：泥水式シールド工事における余剰泥水の再利用例、基礎工、1991. 4.
- 3) 助川禎：シールド残土のリサイクル、(財)セメント協会セメント系固化材セミナーテキスト、1992. 10.
- 4) 助川禎・好井宏太郎・藤木育雄：泥水式シールド発生土の再利用その 1、土木学会、第 48 回年次学術講演会概要集、1993. 9.
- 5) 久野悟郎・助川禎・好井宏太郎：泥水式シールド発生土及び余剰泥水の現場内利用に関する実験的研究、(財)日本道路協会、第 20 回日本道路会議発表論文、1993. 10.
- 6) 助川禎・好井宏太郎・河野隆明：泥水式シールド工事における発生土現場処理工法の研究、土質工学会「都市空間利用における大深度地盤」シンポジウム、発表論文、1993. 11.
- 7) セメント系固化材による地盤改良マニュアル、(社)セメント協会。

(1993. 8. 20 受付)

DEVELOPMENT OF A BACK-FILLING METHOD USING EXCESS SLURRY FROM THE SLURRY SHIELD

Tadashi SUKAGAWA

A back-filling method has been developed, which uses, as a refilling material in the field, the most-difficult-to-handle excess slurry produced from the slurry shield method. A solidifying agent is added to the excess slurry to obtain a viscous fluid, which is then transported for back-filling. This report describes the various experiments necessary to implement this method in the actual work and the results of trial applications based on the experimental result. This method can reduce to a minimum the transfer of excess slurry to the outside and the consumption of pit sand for back-filling, thereby contributing to the conservation of the natural environment.